

RISQUES AGRO-ENVIRONNEMENTAUX LIES AUX MATIERES ORGANIQUES

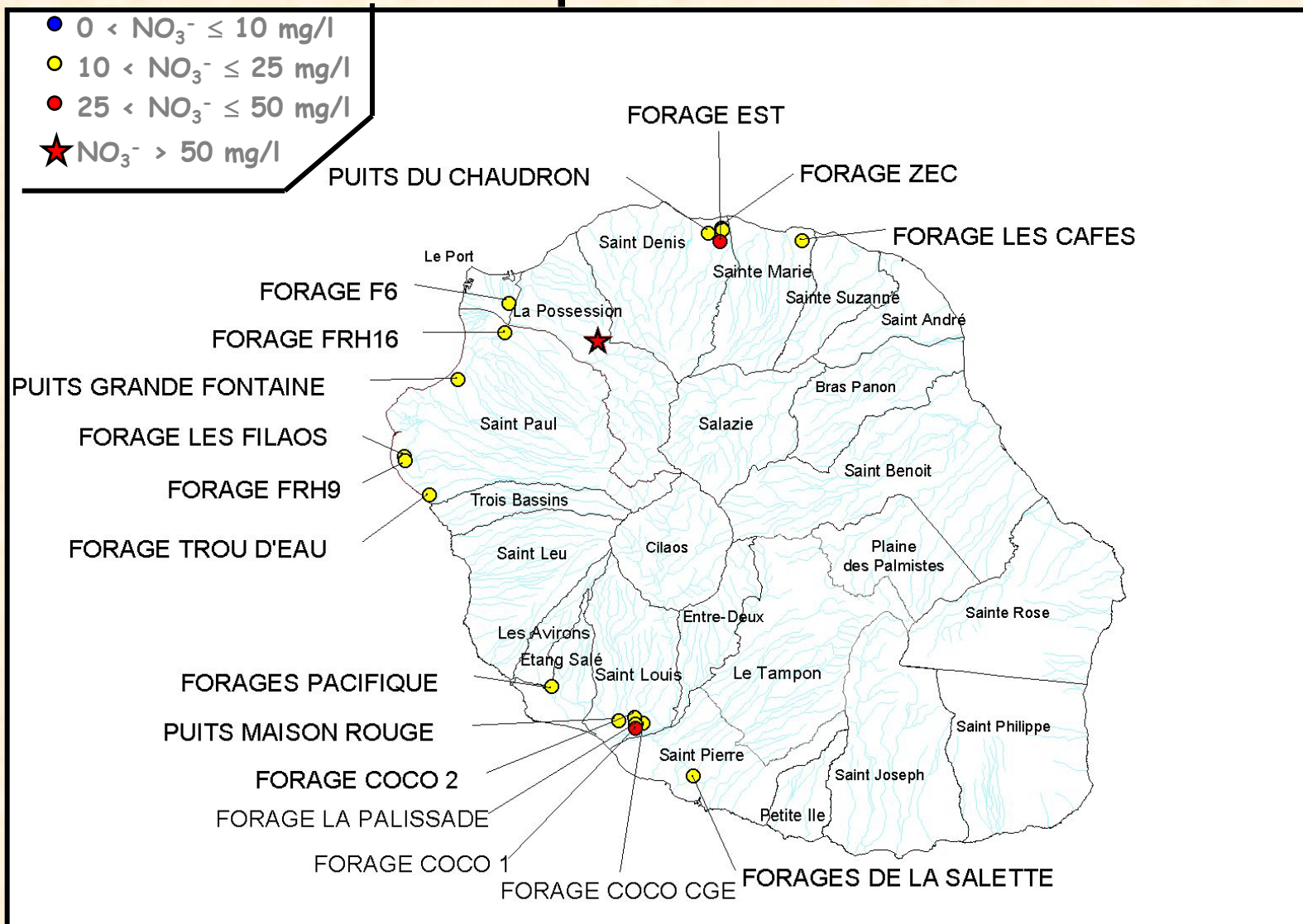
Illustration par le cas des nitrates à La Réunion



H. SAINT MACARY, A. FINDELING

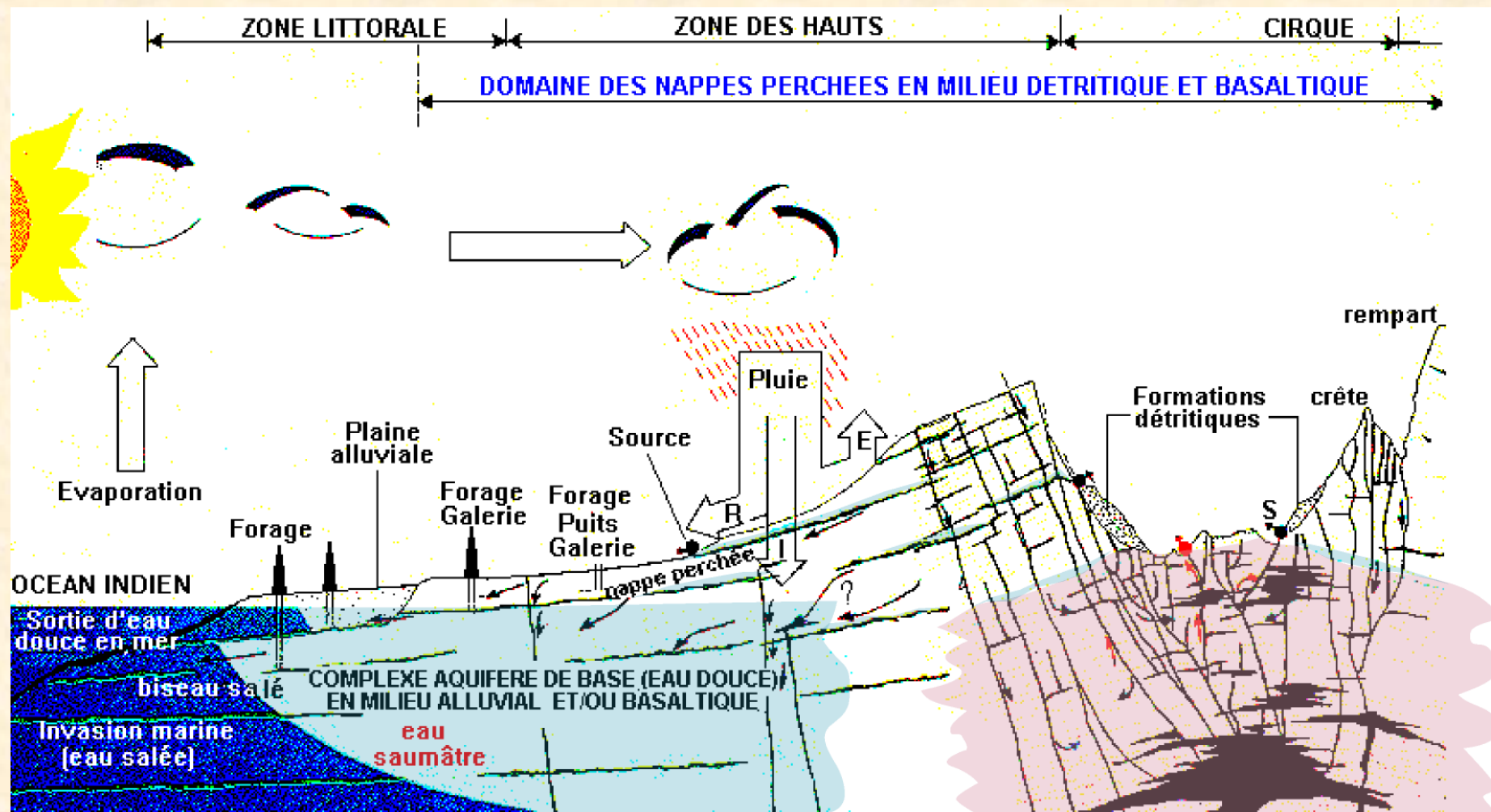
F. FEDER, N. PAYET

Problématique : les teneurs en nitrates des eaux de nappes profondes



Contexte hydrogéologique

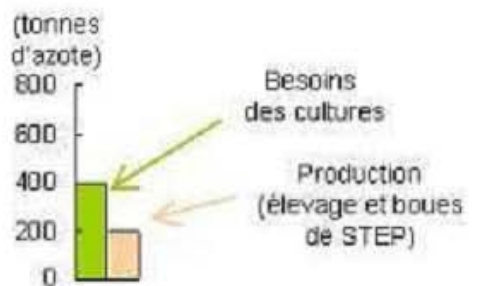
Les eaux souterraines sont alimentées par des pluies d'altitude



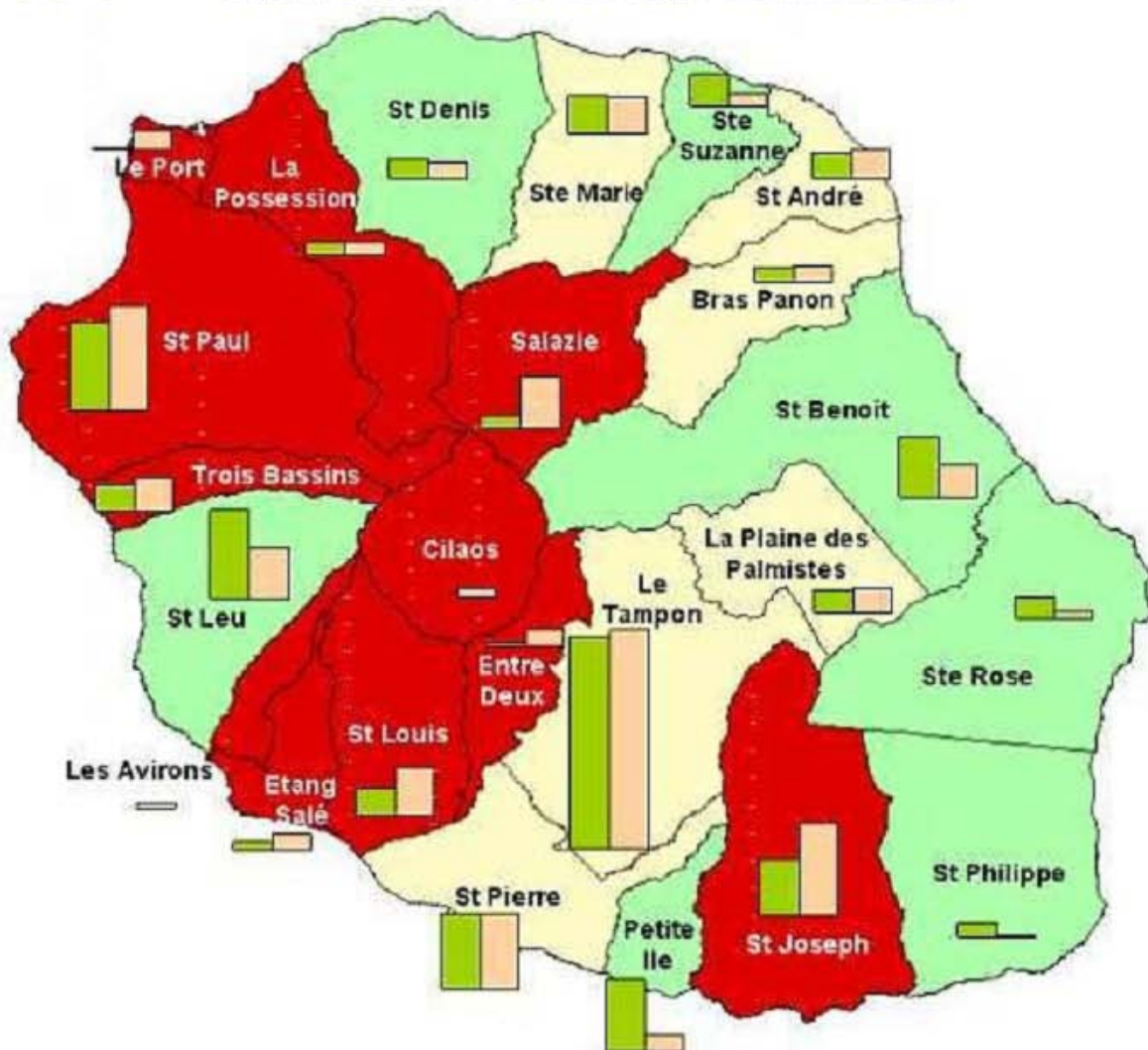
Les apports de matières organiques peuvent-ils expliquer les augmentations des teneurs en nitrates ?

Scénario de précaution - Bilan d'azote à l'échelle communale

Situation équilibrée
à l'échelle de l'île.



- Commune déficitaire en azote
- Commune équilibrée en azote
- Commune excédentaire en azote



Les produits agricoles pouvant être à l'origine des nitrates

Produit	Tonnes produites	Tonnes d'azote
Lisier de bovin	480 000	554
Lisier de porc	180 000	378
Lisier de pondeuse	16 000	98
Fientes de pondeuse	1 800	33
Fumier de volaille	11 000	149
Fumier de bovin	13 000	20
Fumier de caprin	20 000	46
Autres fumiers	19 800	22
(Boues de stations d'épuration)		163
TOTAL		1 462

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

**Choix des
polluants**

Définition de la cible impactée
(consommateur, environnement : sol, nappe)

ALÉA

Identification des réponses

Caractérisation des réponses :

- Relation dose - réponse
- Conditions, modalités et probabilité d'occurrence

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

X

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Identification des réponses

Caractérisation des réponses :

- Relation dose - réponse
- Conditions, modalités et probabilité d'occurrence

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

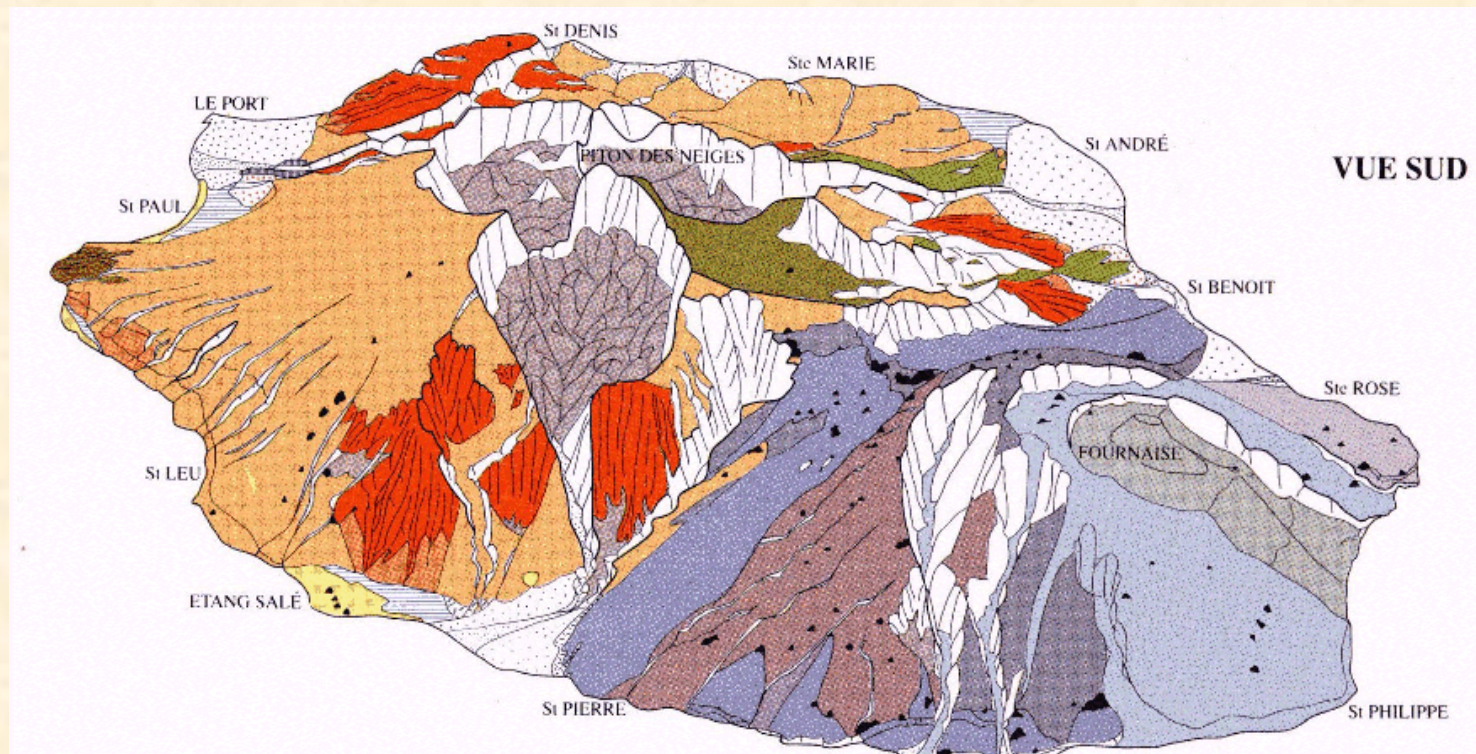
X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

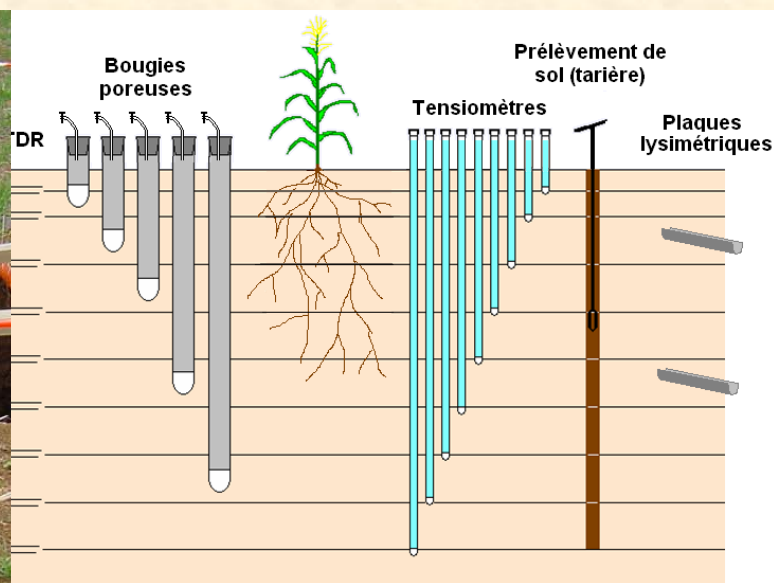
Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

Flux d'eau et de nitrate liés aux apports de lisier dans la zone non saturée





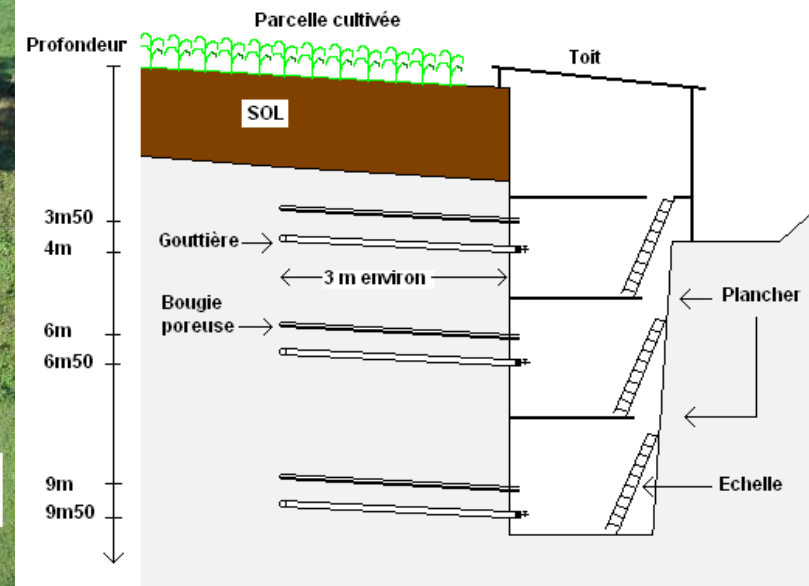
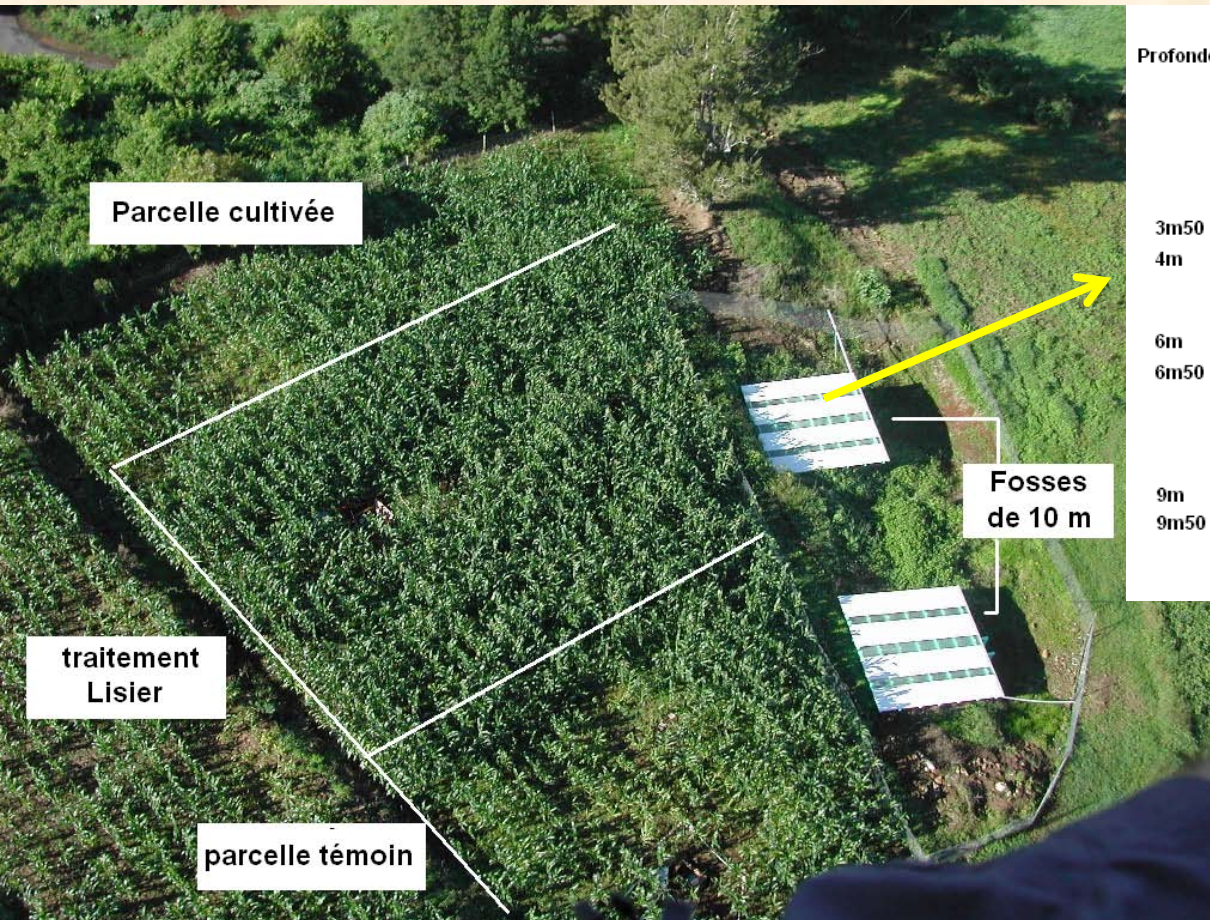
Suivi des flux d'eau et de nitrate dans le sol



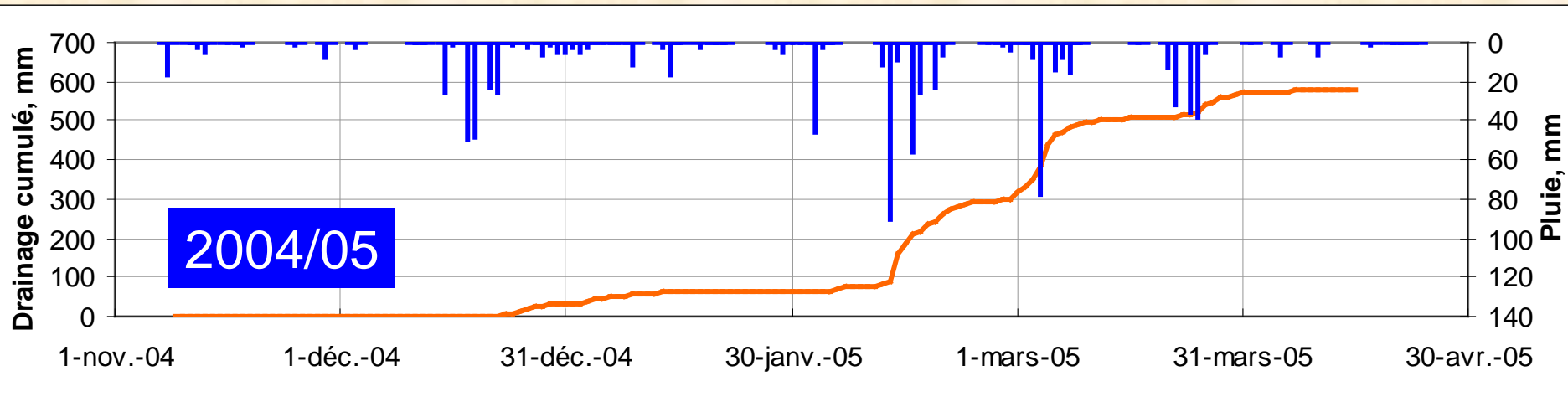
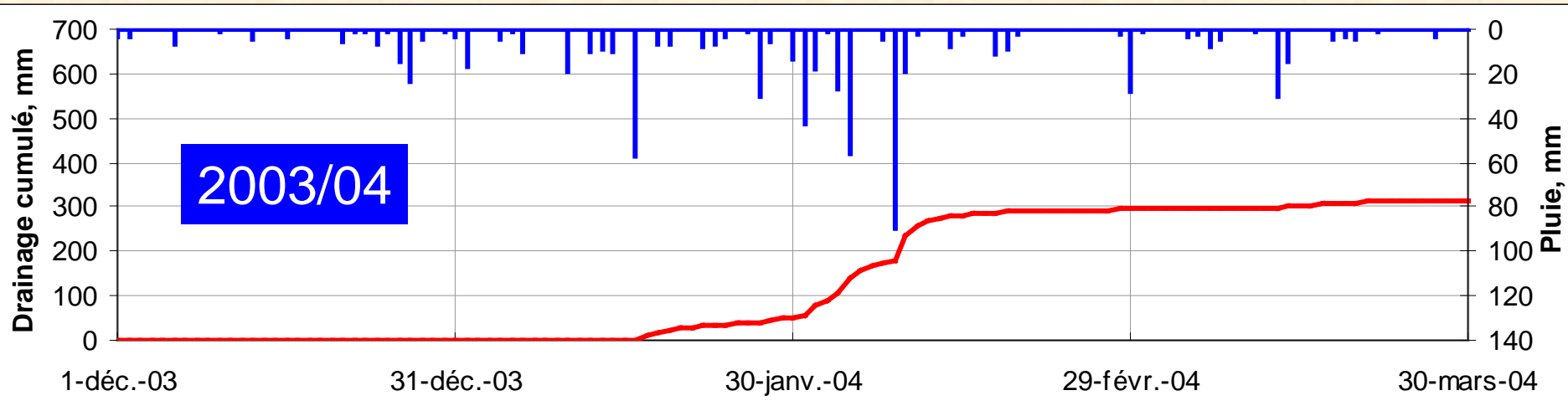
Culture:
maïs en été
avoine en hiver

✦ : Site de mesure

Suivi des flux d'eau et de nitrates dans le sous-sol

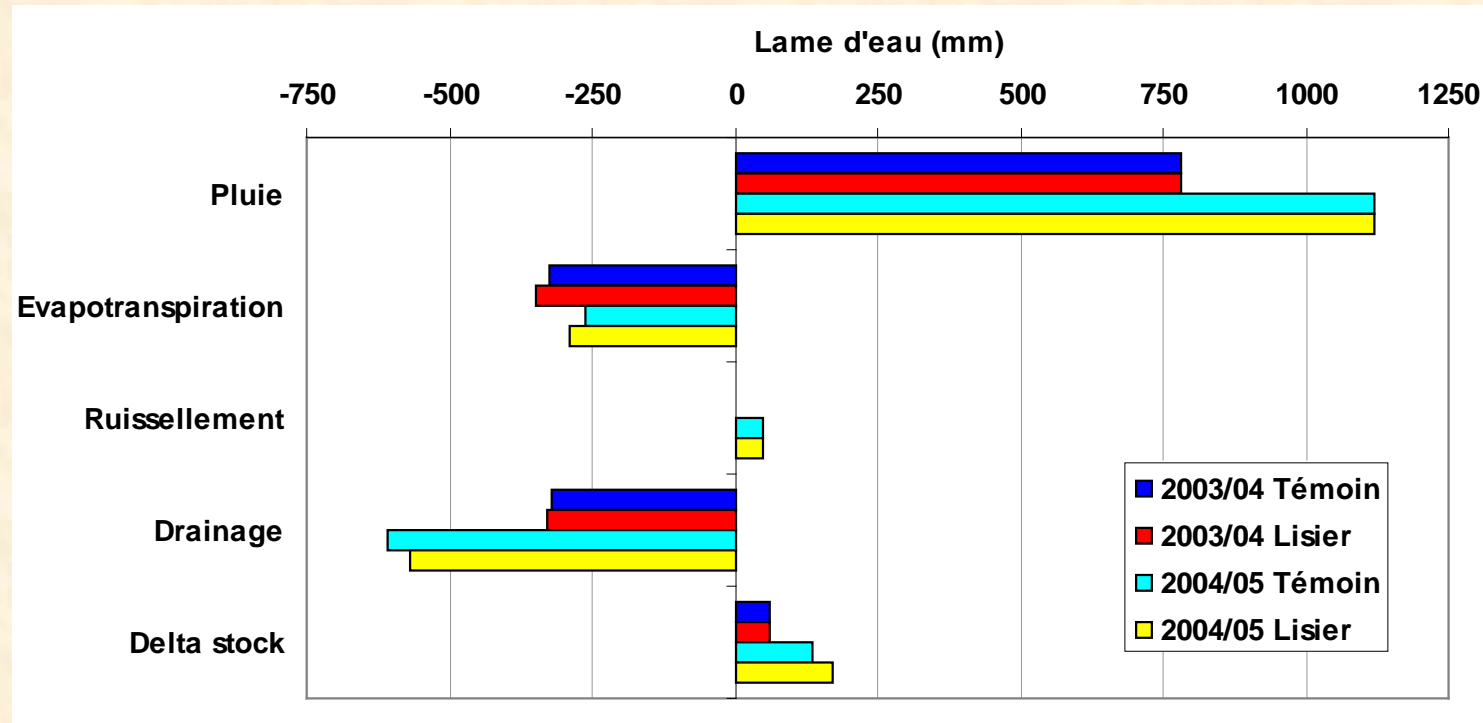


Drainage à 150 cm



Drainage très rapide (70 % d'une pluie est drainé en moins de 24 heures)

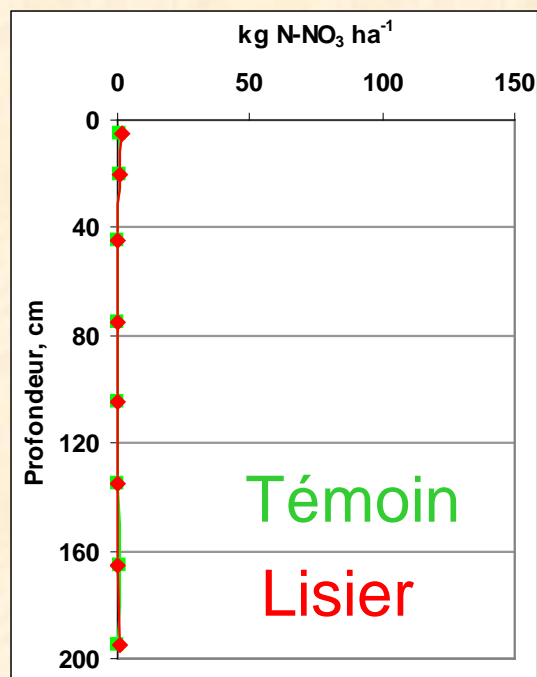
Bilan hydrique des deux campagnes de mesures



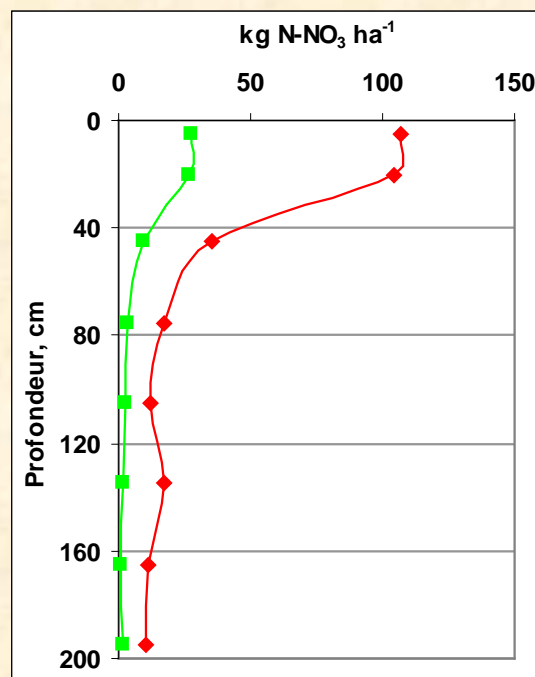
- Drainage cumulé \approx 50 % pluie cumulée
- Ruissellement nul ou très faible
- Sol peut stocker jusqu'à 100 mm d'eau
- Maïs lisier consomme légèrement plus d'eau que le maïs témoin

Flux d'azote dans le sol et le sous-sol

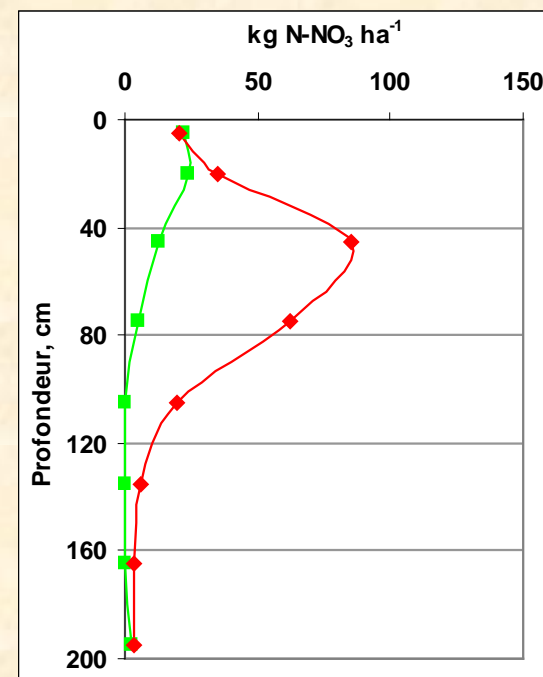
Évolution des teneurs en nitrate du sol : 2003/04



Avant épandage

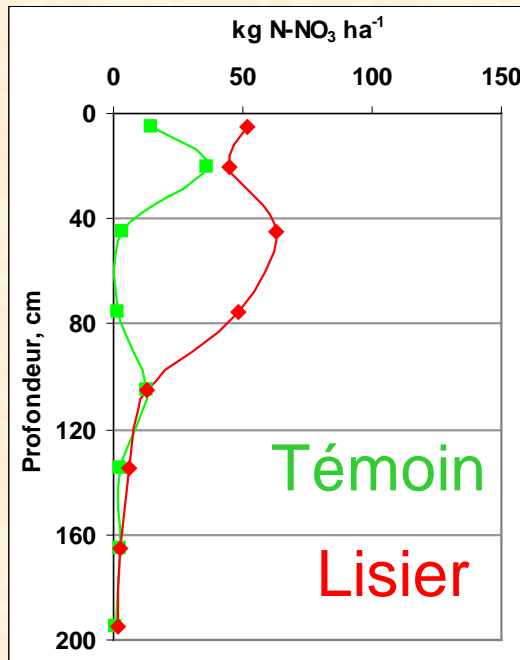


1 mois après épandage

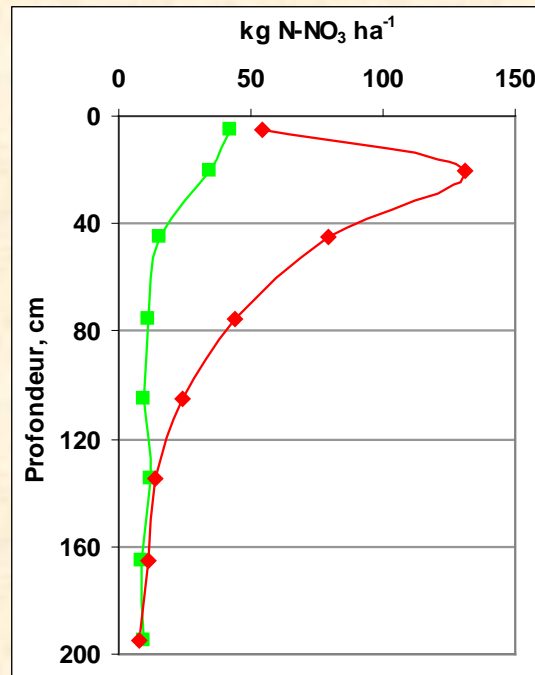


Coupe, 5 mois après
épandage

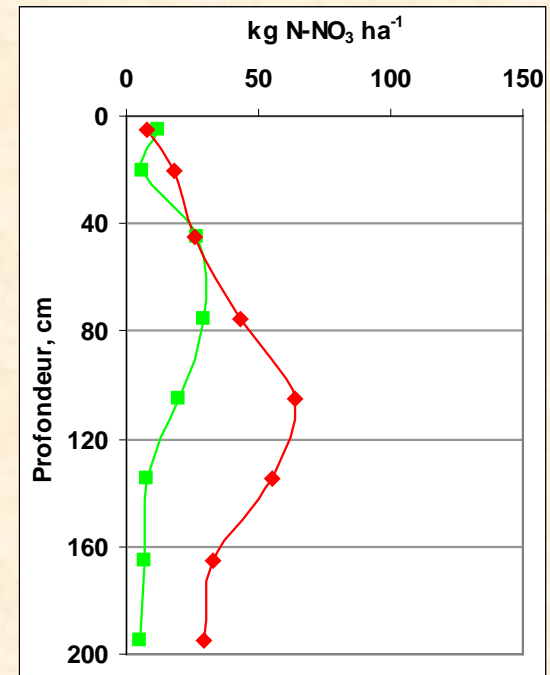
Évolution des teneurs en nitrates du sol : 2004/05



Avant épandage



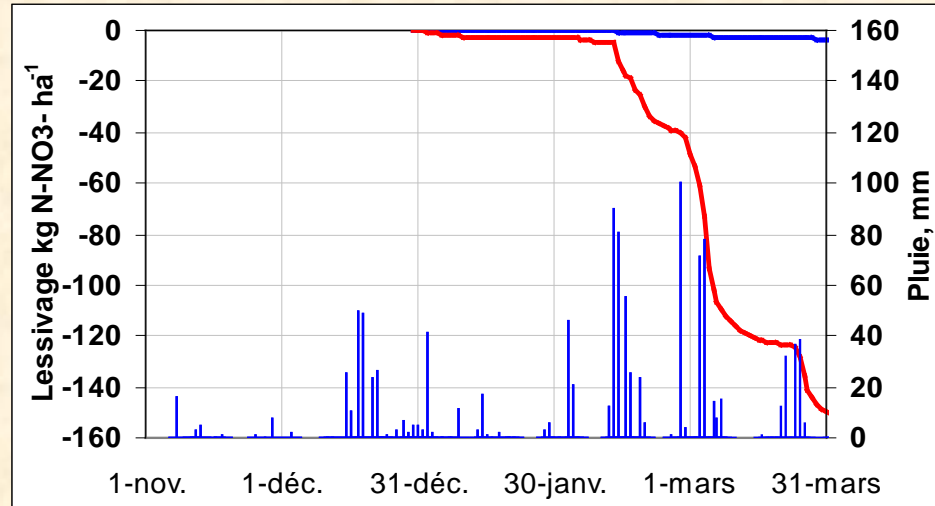
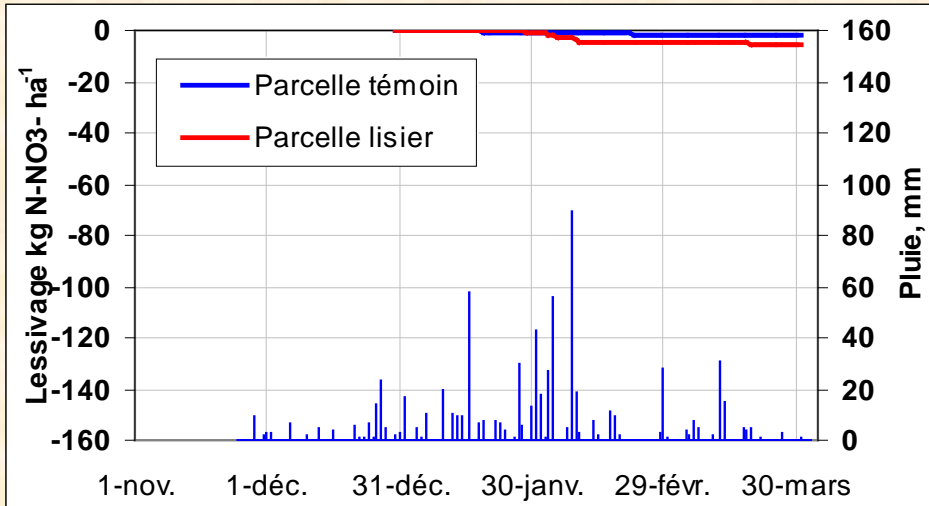
1 mois après épandage



Coupe, 4 mois après épandage

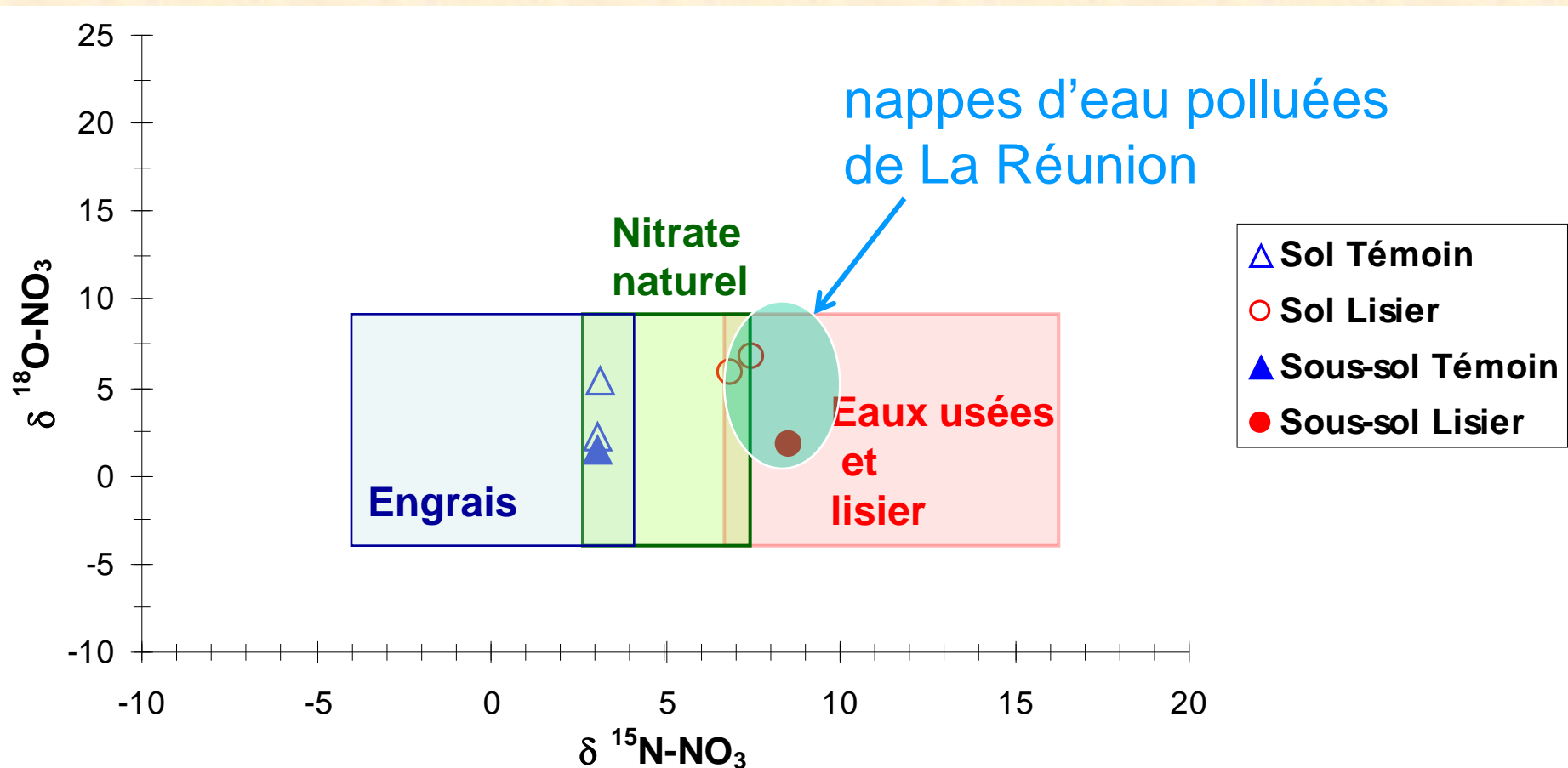
- Une grande proportion de l'azote épandu est stocké dans le profil de sol (sous forme NO₃⁻ essentiellement)
- Stock d'azote minéral migre lentement en profondeur

Lixiviation des nitrates à 150 cm



- Pas de lixiviation lors de la première campagne (sur les deux parcelles)
- Lixiviation importante sur la parcelle lisier (2^e campagne)

Origine des nitrates : utilisation des isotopes naturels ^{18}O et ^{15}N



Principaux enseignements des deux campagnes de mesures

- La plante
 - Apport de lisier favorise le développement du maïs
→ lisier de porc bon fertilisant azoté
- Flux d'eau
 - SOL
 - Drainage rapide, il représente une grande proportion des pluies (environ 50%)
 - Ruissellement négligeable
 - SOUS-SOL
 - Flux d'eau peuvent être rapides (jusqu'à 100 mm/h)
 - Résultats valables pour les 10 premiers mètres de sous-sol non saturé

Principaux enseignements des deux campagnes de mesures (suite)

- Flux d'azote

SOL

- Une grande proportion de l'azote du lisier est stocké dans le sol
- Vitesse d'avancement du front de nitrate :
90 cm pour 300 mm d'eau drainée à 150 cm
→ adsorption des nitrates sur les particules de sol

SOUS-SOL

- Flux de nitrate sont très ralentis
- Utilisation des isotopes permet de différencier les sources de nitrate

Utilisation du modèle « WAVE » (Vanclooster et al., 1994)

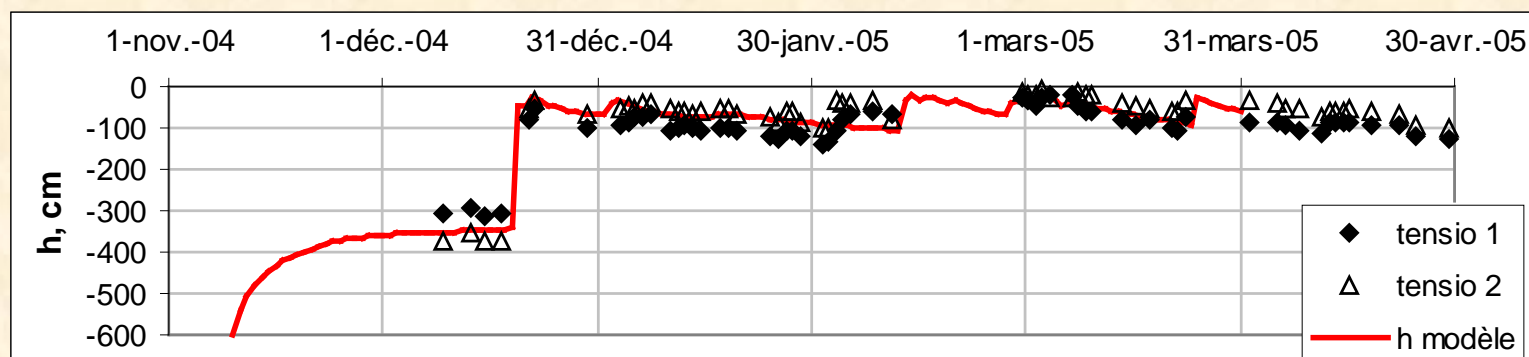
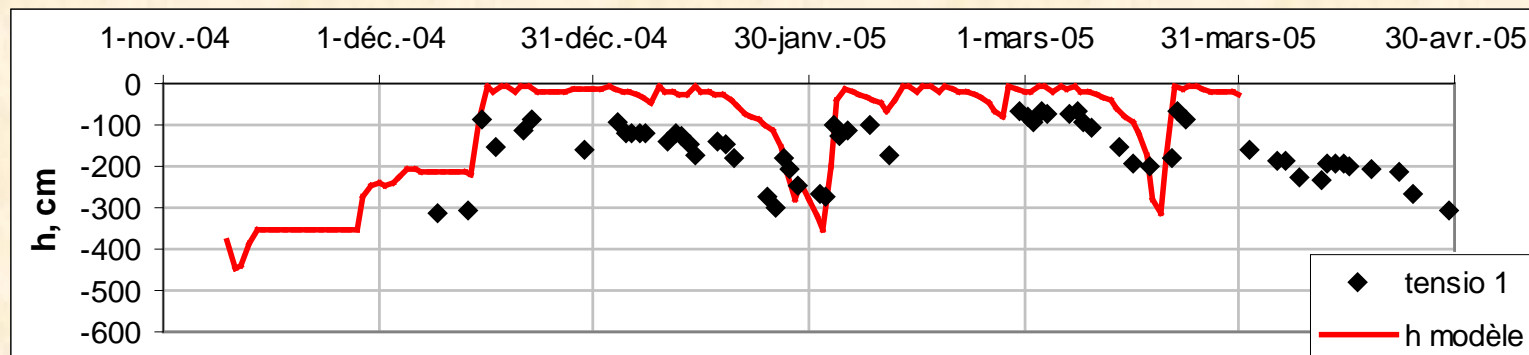
- Modèle mécaniste, décrivant le transport unidirectionnel vertical de masse et d'énergie dans le système sol-plante-atmosphère
- Modèle numérique, équations résolues par la méthode des différences finies
- 5 modules : eau, soluté, azote, chaleur, ~~plante~~

Objectif : prévoir les transferts couplés d'eau et de nitrate pour des conditions pédo-climatiques des hauts de l'ouest de La Réunion

→ Déterminer les risques de lixiviation des nitrates pour des conditions de forçage azoté

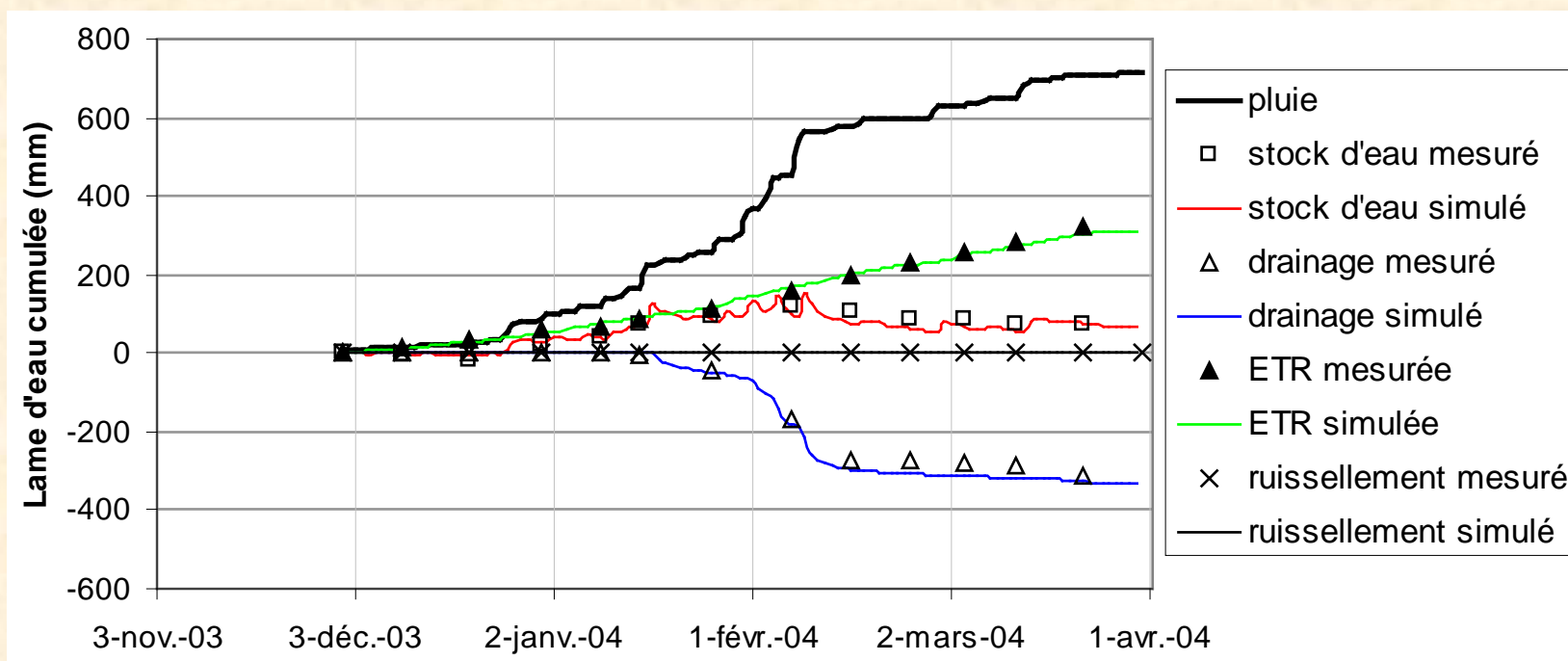
Résultats du calage (transfert hydrique)

- Potentiels hydriques (h) de la parcelle témoin



Validation du modèle sur la saison 2003/04

Résultats de la validation : Bilan hydrique – parcelle lisier

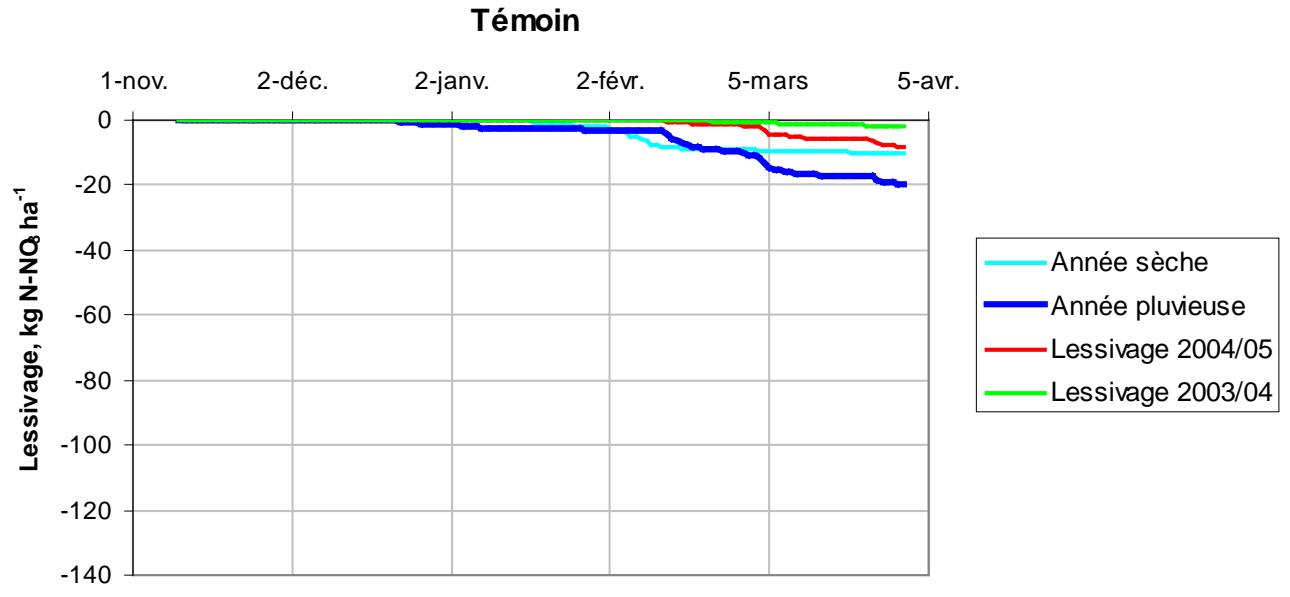


Réalisation de scénarios

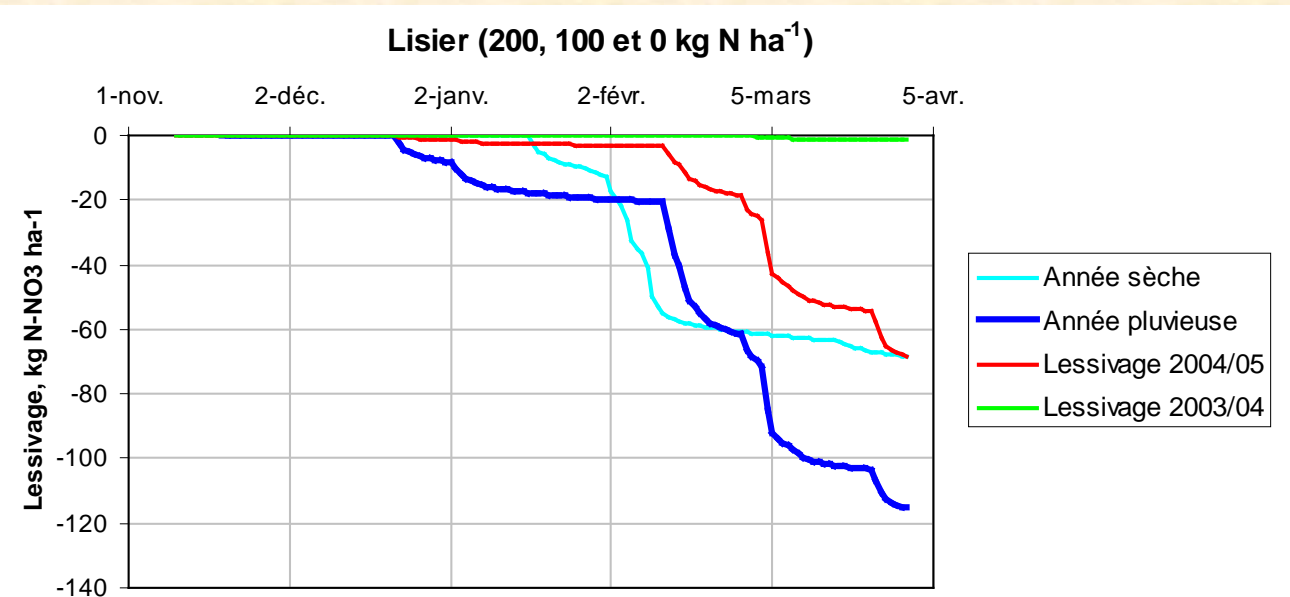
- But : réaliser une étude prospective des risques de lixiviation des nitrates au delà de la zone racinaire
- Simulation fictive de la saison 2005/06
 - avec différents apports de lisier (0, 100 et 200 kg N ha⁻¹)
 - En conditions climatiques sèche (03/04) et humide (04/05)

Résultat de la simulation des scénarios

Parcelle
témoin



Parcelle
lisier



Conclusions générales

- ➔ **Risque réel de pollution des nappes par les nitrates après l'épandage de lisier sur un sol cultivé**
- ➔ **Importance de suivre les flux d'eau et de nitrate dans le sol et le sous-sol**
- ➔ **Généralisation des résultats : utilisation de la modélisation**

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Identification des réponses

Caractérisation des réponses :

- Relation dose - réponse
- Conditions, modalités et probabilité d'occurrence

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation
des nitrates : connus

Relation dose – réponse :
modélisée

Propriétés des sols
conditionnant l'adsorption :
identifiées

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation
des nitrates : connus

Relation dose – réponse :
modélisée

Propriétés des sols
conditionnant l'adsorption :
identifiées

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

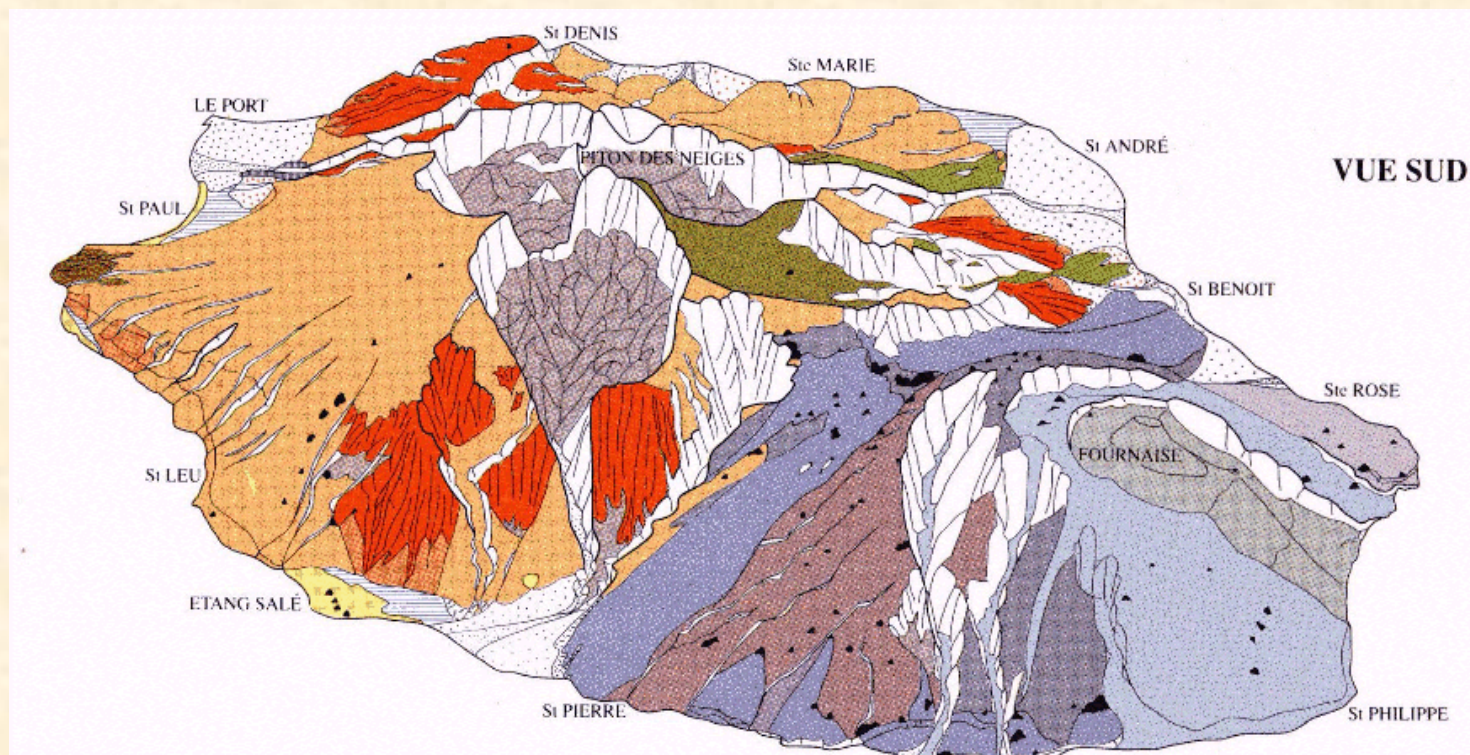
X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

Vulnérabilité de la nappe : les transferts de nitrates dans les différents sols



Méthode employée

- Evaluation de la vulnérabilité (vis-à-vis du sol) passe par la connaissance des critères déterminants liés aux transferts à travers les sols.
 - Les définitions et données des cartes ne sont pas bien adaptées à la problématique : nécessité d'un retour sur le terrain pour récupérer des données pertinentes sur les propriétés des sols
- => Reconstruction d'une carte pédologique avec des informations pertinentes

Légende

zone_d_etude

secteur_ref

● Profil 1ère Campagne

● Profil 2ème campagne

● Sondage tarière



3 440 1 720 0 3 440 Meters

Matériels et Méthodes

➤ Mesure de conductivité hydraulique (méthode Beerkan)

➤ Pour chaque horizon de chaque profil, deux types d'échantillons : un pour archivage et un autre pour les analyses

- pH_{eau} , pH_{KCl} et pH_{NaF}
- $\text{C}_{\text{org.}}$, MO , $\text{N}_{\text{tot.}}$
- Rétention des phosphates
- Extraction au CBD et à l'oxalate de Si, Fe et Al
- Extraction au pyrophosphate de Fe et Al
- Complexe d'échange anionique, cationique et acidité d'échange
- Granulométrie
- Densité optique de l'extrait à l'oxalate

Réalisation de la carte

But d'une carte :

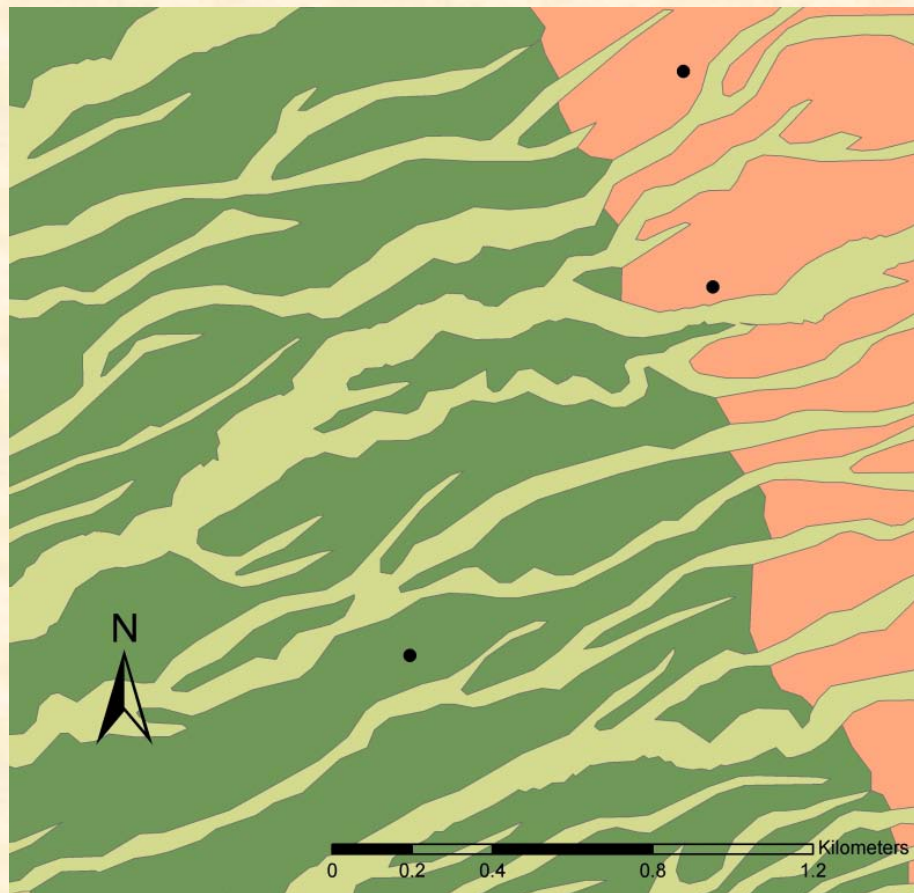
Utilisation au mieux des résultats d'analyses de sols obtenus pour évaluer la vulnérabilité des nappes

Il existe 2 approches :

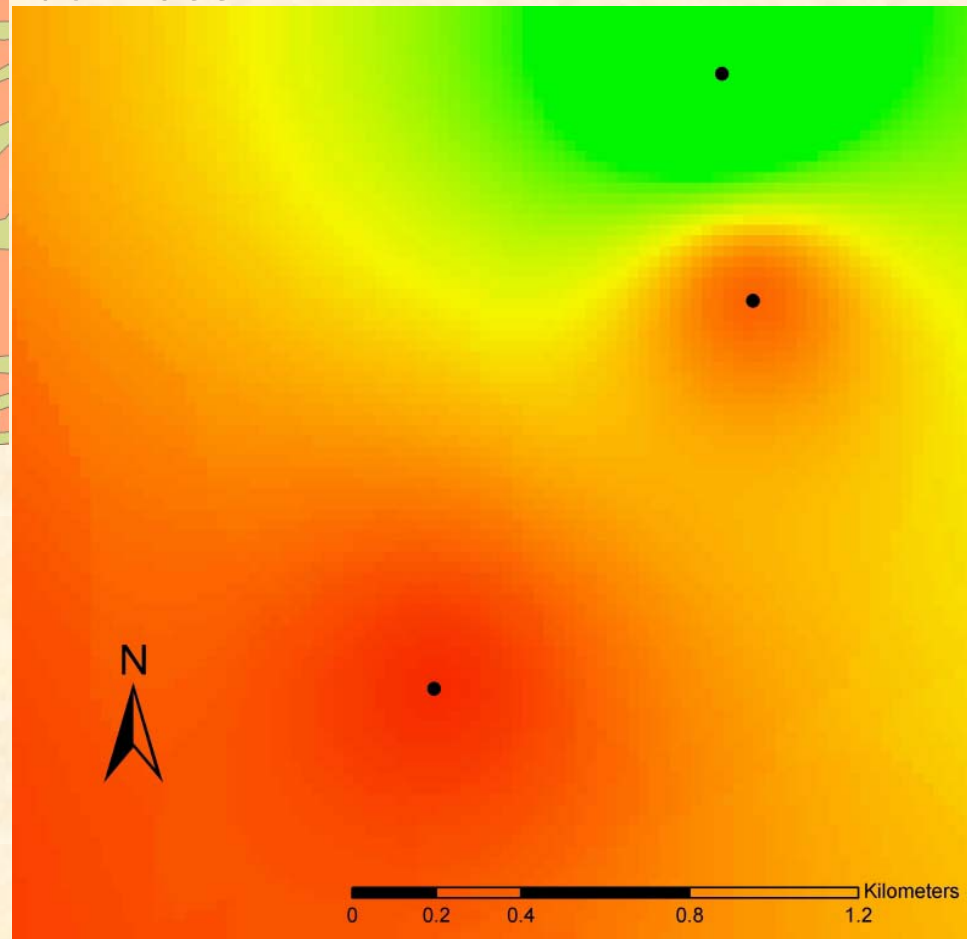
- Utilisation des données pour la reconstruction d'une carte
- Utilisation des données ponctuelles de chaque fosse pour réaliser des extrapolations pour chaque variable => obtention de cartes pour chaque variable à agréger dans un modèle.

La reconstruction de la carte est une approche plus réaliste.

La cartographie extrapolée propose des changements plus diffus dans les propriétés, ce qui ne reflète pas la réalité du terrain.



Approche interpolation des données



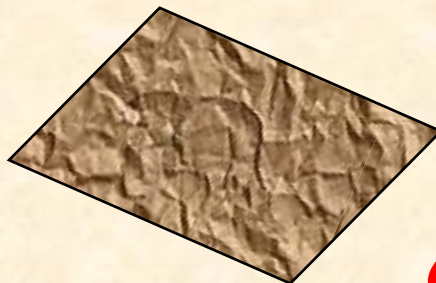
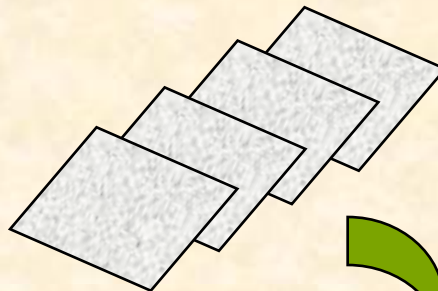
Approche cartographie des sols

Données issues de la
campagne de
prospection (fosses et
tarières)

SIG

Réalisation de
la carte
pédologique

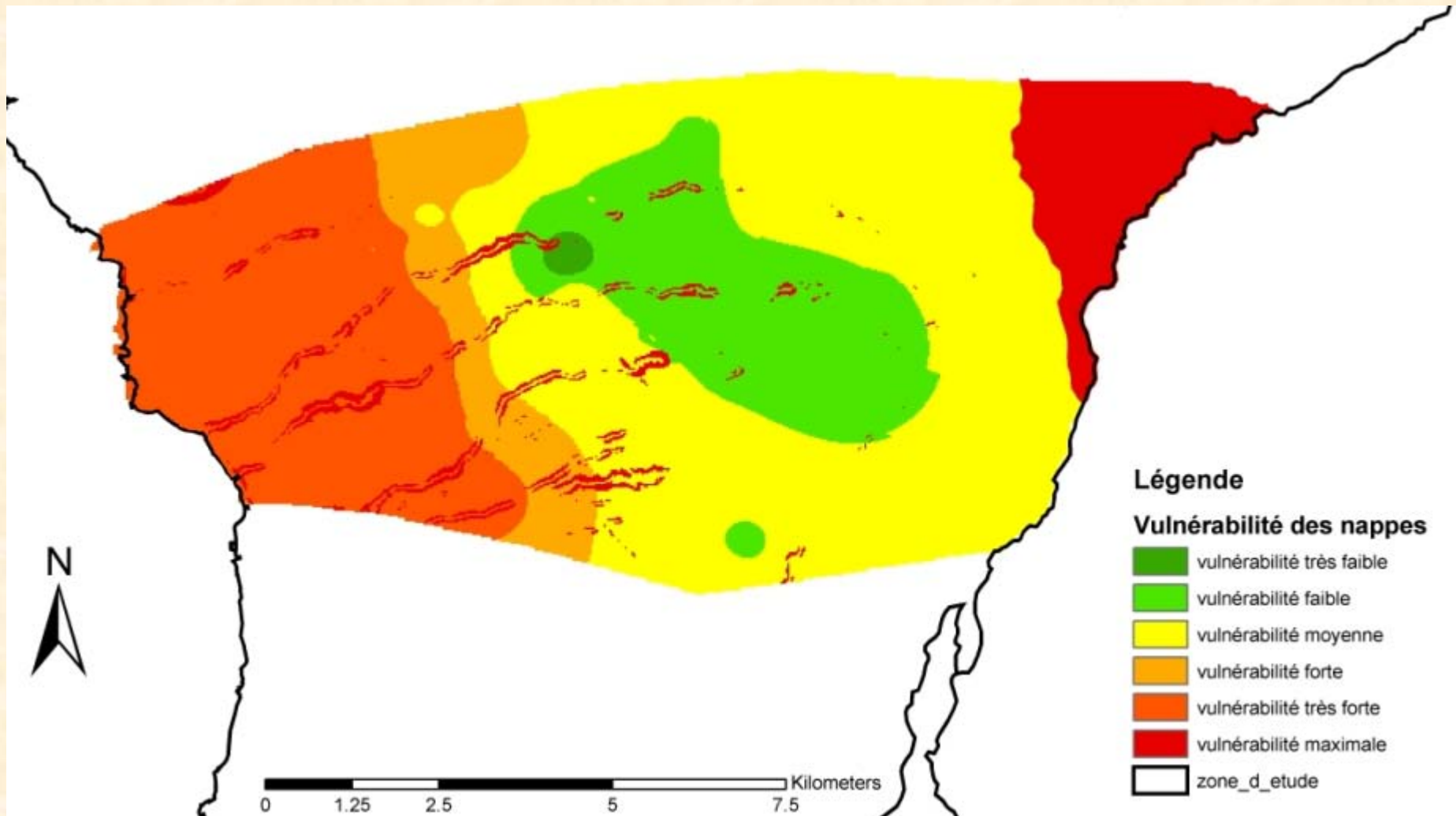
Extraction de cartes
thématiques
(pour chaque propriété)



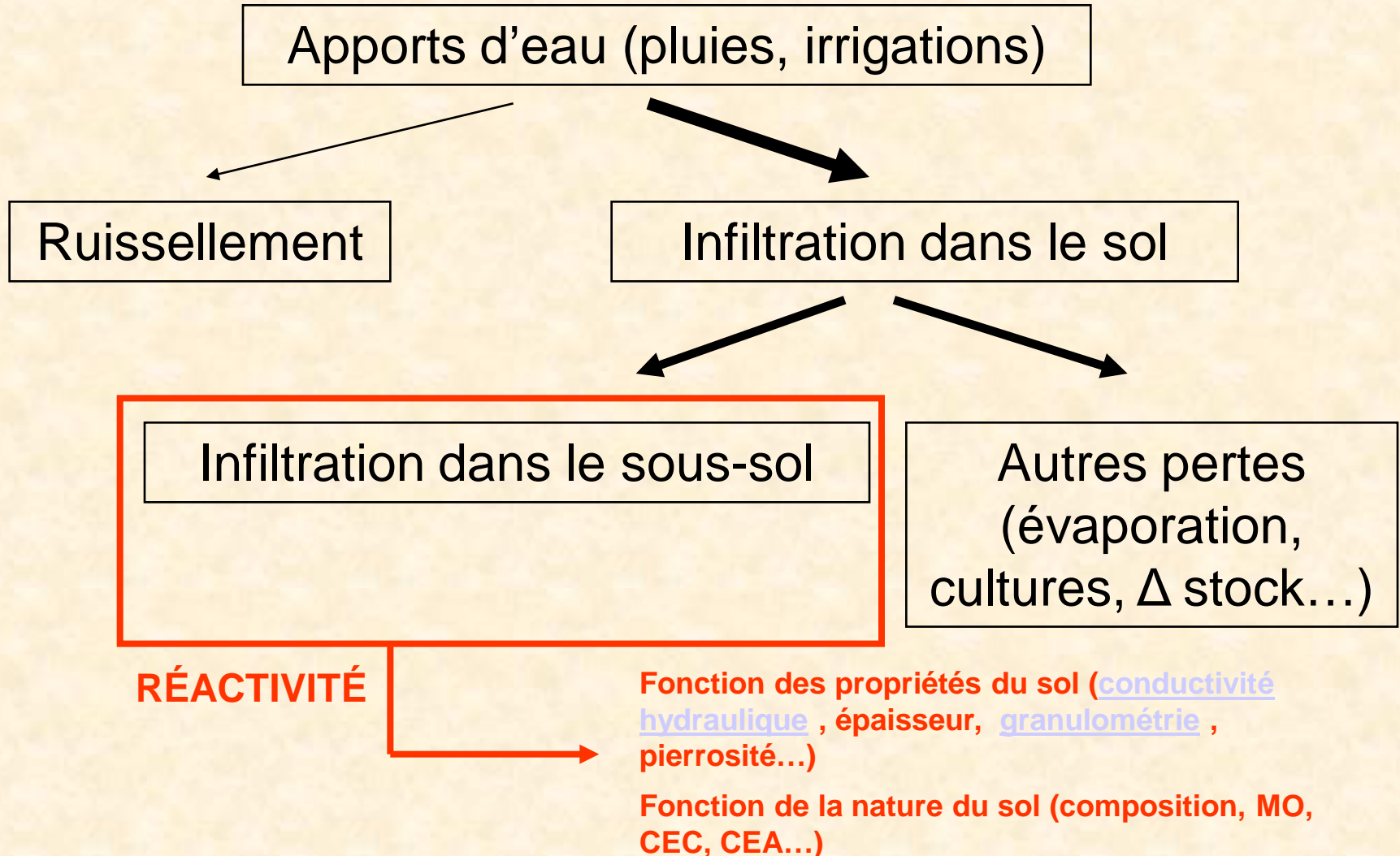
SIG +
Modèle
SOL_Class

Carte de la sensibilité
des sols

Vulnérabilité des nappes



Hiérarchisation des propriétés définissant la vulnérabilité



CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation
des nitrates : connus

Relation dose – réponse :
modélisée

Propriétés des sols
conditionnant l'adsorption :
identifiées

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation
des nitrates : connus

Relation dose – réponse :
modélisée

Propriétés des sols
conditionnant l'adsorption :
identifiées

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible
sol : faite

Évaluation de l'exposition
de la nappe : première
approche réalisée

X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Dose très élevée

Pluviométrie importante

VULNÉRABILITÉ

Sol « perméable »

ou

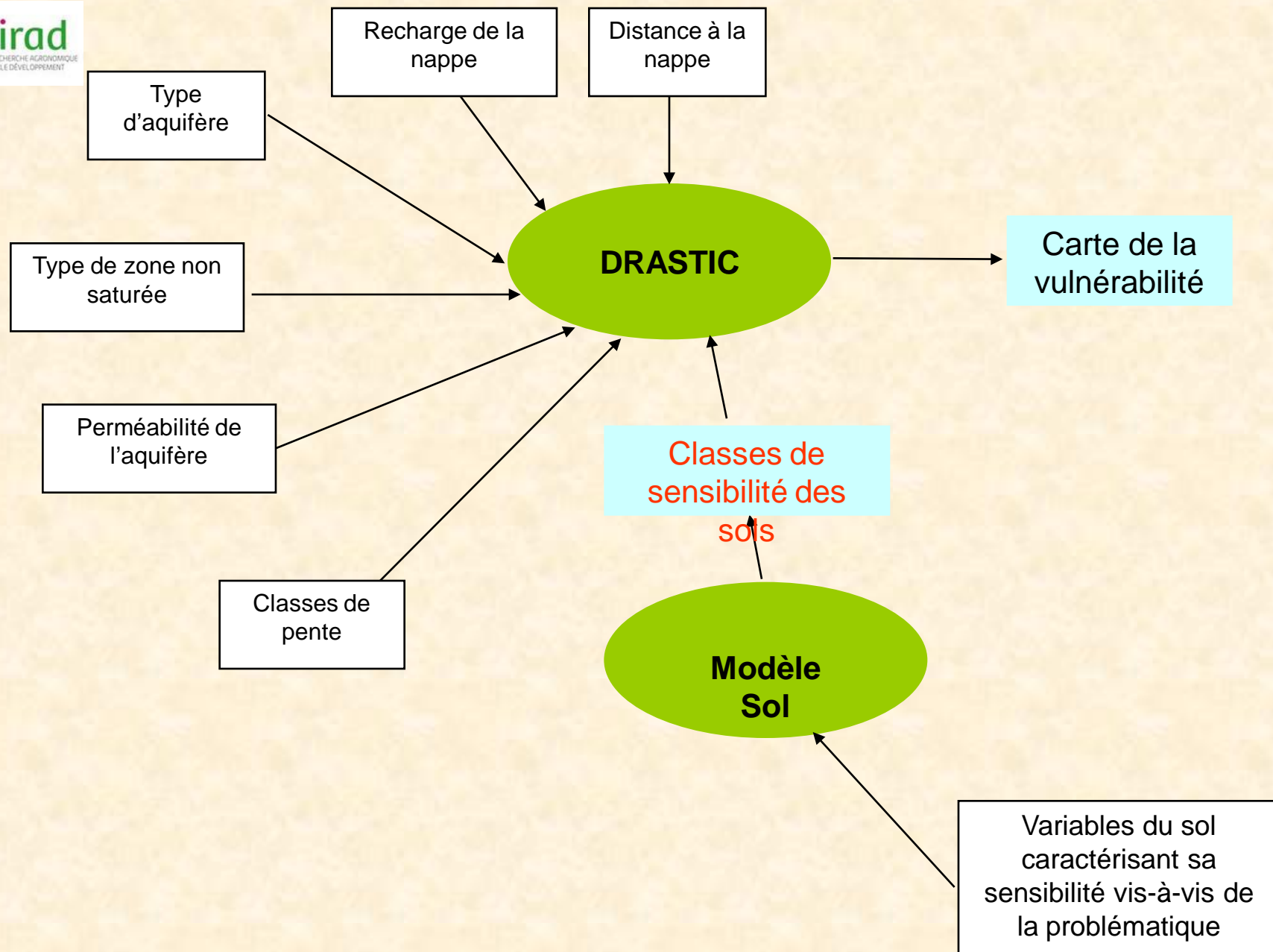
Sol « adsorbant »

X

=

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques



RISQUES AGRO-ENVIRONNEMENTAUX LIES AUX MATIERES ORGANIQUES

RICHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

Illustration par le cas des nitrates à La Réunion



Merci de votre attention